

15. Shkutko, N. V. Coniferous Belarus / N. V. Shkutko. – Moscow : Nauka, 1991. – 263 p.
16. Voroshilov, V. N. The rhythm of development in plants / V. N. Voroshilov. – Moscow : Nauka, 1960. – 312 p.
17. Sabinin, D. A. Physiology of plant development / D. A. Sabinin. – Moscow : Science, 1966. – 233 p.
18. Kishchenko, I. T. Growth and development of native and introduced species of the Pinaceae Lindl. in the conditions of Karelia / I. T. Kishchenko. – Petrozavodsk : Publishing House of PetrSU, 2000. – 221 p.
19. Elagin, I. N. The relationship between the phenological state and the degree of formation of the annual layer in Siberian wood species / I. N. Elagin // Renewal and formation of Siberian forests. – Krasnoyarsk, 1969. – P. 136–142.
20. Trulevich, N. V. Ecological and phytocenotic basis of plant introduction / N. V. Trulevich. – Moscow : Science, 1991. – 214 p.
21. Kaal, E. S. Introduction of species of the genus Acer L. in the Botanical Garden. CM. Krutovsky / E. S. Kaal, V. E. Maksimenko // Forest and chemical complexes – problems and solutions : Collection of articles on the materials of the All-Russian (with international participation) scientific-practical conference. The conference is dedicated to the 85th anniversary of SibGTU. – Krasnoyarsk, 2015. – P. 7–9.
22. Shestak, K. V. Studying the peculiarities of the introduction of introducers of the Acer L. genus at the Central Scientific and Biological Center SB RAS / K. V. Shestak, I. A. Alekhine // Forest and Chemical Complexes. – Problems and Solutions : Collection of articles on the materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference : In 2 volumes. – Krasnoyarsk, 2016. – P. 30–32.
23. Dorofeeva, L. M. The results of the introduction of the genus Acer L. in the Middle Urals / L. M. Dorofeeva // Bulletin of the Irkutsk State Agricultural Academy. – 2011. – № 1–44. – P. 33–42.

УДК 630*1

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ФЕРРОСПЛАВНОГО ЗАВОДА НА ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ МЕТОДАМИ БИОИНДИКАЦИИ

А. Ф. МУРАШОВ – магистрант кафедры лесных культур и биофизики*,
e-mail: afmurashov@gmail.com

А. В. КАПРАЛОВ – кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент кафедры лесных культур и биофизики*,
e-mail: dekanat_zf@inbox.ru *

* ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»
620100, Россия, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37

Ключевые слова: биоиндикация, промышленные поллютанты, ферросплавный завод, санитарное состояние древостоев, оценка фитотоксичности, лишеноиндикация, возраст хвой.

Большинство металлургических предприятий оказывает негативное воздействие на лесные насаждения прилегающих к нему территорий. Одним из таких участков являются лесные насаждения вблизи п. Двуреченск Свердловской области, окружающие ферросплавный завод ПАО «КЗФ». Известно, что поллютанты металлургических предприятий оказывают влияние на все компоненты биогеоценоза, в частности на лесную растительность. Завод в последние десятилетия не работает на полную мощность и в значительной степени отвечает современным экологическим требованиям. Однако так было не всегда: очистные сооружения завода не обеспечивали задержание вредных выбросов, в результате чего накопление поллютантов на прилегающих территориях проводилось более полувека. Цель настоящей работы – оценка воздействия

ферросплавного завода на лесные экосистемы зоны влияния, определение их состояния и выявление значимости индикаторов оценки.

В работе проведены исследования по определению состояния лесных насаждений с использованием методов биоиндикации. Исследования проводились на временных пробных площадях (ВПП), заложенных на трансектах, которые располагаются в северном, восточном, южном и западном направлениях. На ВПП было определено санитарное состояние древостоев, средний возраст хвои сосны обыкновенной, произведен анализ на фитотоксичность проб почвы и талой снеговой воды. С целью оценки экологической ситуации от возможного воздействия завода определялось количество лишайников в лесном насаждении (метод лишайноиндикации). Оценка воздействия ферросплавного завода на лесные экосистемы выявила, что насаждения находятся в ослабленном состоянии. Достаточно четко прослеживается связь санитарного состояния древостоев с фитотоксичностью почв и талой снеговой воды, данными лишайноиндикации. В наибольшей степени влияние завода на состояние древостоя прослеживается в северной и восточной частях зоны.

EVALUATION OF THE EXPOSURE TO A FERROALLOY PLANT FOR FOREST ECOSYSTEMS BY BIOINDICATION METHODS

A. F. MURASHOV – graduate student of the department
forest crops and biophysics*,
e-mail: afmurashov@gmail.com

A. V. KAPRALOV – Candidate of Agricultural Sciences
Associate Professor of the Department of Forest Cultures and Biophysics*,
e-mail: dekanat_zf@inbox.ru

* FSBE HE «Ural State Forestry University»
620100, Russia, Yekaterinburg, Siberian Tract, 37

Keywords: *bioindication, industrial pollutants, ferroalloy plant, PJSC «KZF», sanitary condition of forest stands.*

Most metallurgical enterprises have a negative impact on forest stands adjacent to it. One of these sites is forest plantations near the village of Dvurechensk, Sverdlovsk Region, surrounding the ferroalloy plant of PJSC «KZF». It is known that pollutants of metallurgical enterprises influence all components of the biogeocenosis, in particular, forest vegetation. Over the past decade, the plant has not been operating at full capacity and largely meets modern environmental requirements. However, this was not always the case — the treatment facilities of the plant did not provide for the containment of harmful emissions; as a result of the accumulation of pollutants in the adjacent territories, more than half a century was spent. The purpose of this work: to assess the impact of the ferroalloy plant on the forest ecosystems of the zone of influence, determine their condition and identify the significance of the assessment indicators.

The study conducted studies to determine the state of forest stands using bioindication methods. The studies were carried out on temporary trial plots (TTP) laid on transects located in the north, east, south and west. The TTP determined the sanitary condition of the stands, the average age of pine needles, and analyzed the phytotoxicity of soil and snowmelt samples. In order to assess the environmental situation from the possible impact of the plant, the number of lichens in the forest stands was determined (lichenindication method). An assessment of the impact of the ferroalloy plant on forest ecosystems revealed that the stands are in a weakened state. The relationship between the sanitary state of the stands and the phytotoxicity of soils and melt snow water, lichenindication, is quite clearly traced. The influence of the plant on the state of the stand is most pronounced in the northern and eastern parts of the zone.

Введение

Известно, что на долю предприятий черной металлургии приходится около 15 % общих вредных выбросов в атмосферу, а в районах расположения крупных металлургических заводов и подобных комбинатов – более 50 % всего количества загрязнений, большую часть из которых принимают на себя леса [1, 2]. Территория загрязнения вокруг крупных промышленных предприятий в Российской Федерации занимает 1,3 млн га лесных экосистем [3]. Загрязнения оказывают как прямое (в газопылевой форме) воздействие фитотоксичных веществ на растительность, так и косвенное влияние на насаждения через загрязненные осадки, почвы или грунтовые воды [4–6]. Известно, что первые исследования изменений биоты вблизи точечных источников выбросов были выполнены еще в конце XIX в. [7].

Объектом нашего исследования является завод ПАО «КЗФ», который был основан во время Великой Отечественной войны на основе обогатительной фабрики по добыче хрома. Он является единственным в России и странах бывшего Советского Союза предприятием, выпускающим гамму (более 30 наименований) уникальных ферросплавов и лигатур, получаемых методом восстановления металлов из их кислородных и иных соединений [8]. Завод производит выбросы кальция оксида, пыли неорганической, диалюминия триоксида, дижелеза триоксида, хрома шестивалент-

ного, хрома трехвалентного, азота оксида и др.

Материал и методы

С целью оценки воздействия ферросплавного завода на насаждения был заложен ряд ВПП. Размещаются они на трансектах в северном, восточном, южном и западном направлениях. Центром отсчета трансект был выбрал ферросплавный завод. Первые две площади закладывались через 300 м, затем следовала пробная площадь на расстоянии в 1 км от завода, последующие за ней – через километр (рис. 1). В западном направлении, в 8 км от завода заложена условно-контрольная пробная площадь. Объектом исследования

являются сосняки черничного и разнотравного типов леса IV–V класса возраста. Доля преобладающей породы (сосны) – 9–10 единиц, сопутствующей (береза) – 1 единица.

На пробных площадях была проведена оценка санитарного состояния древостоев. Для этого использовалась шкала санитарного состояния древостоев из правил санитарной безопасности 2017 г. [9]. Проводилось определение возраста хвои сосны обыкновенной на основе 20–30 деревьев на каждой ВПП. На пробных площадях проводилось взятие почвенных образцов методом конверта. В начале марта на этих же площадях отбирались пробы снега для

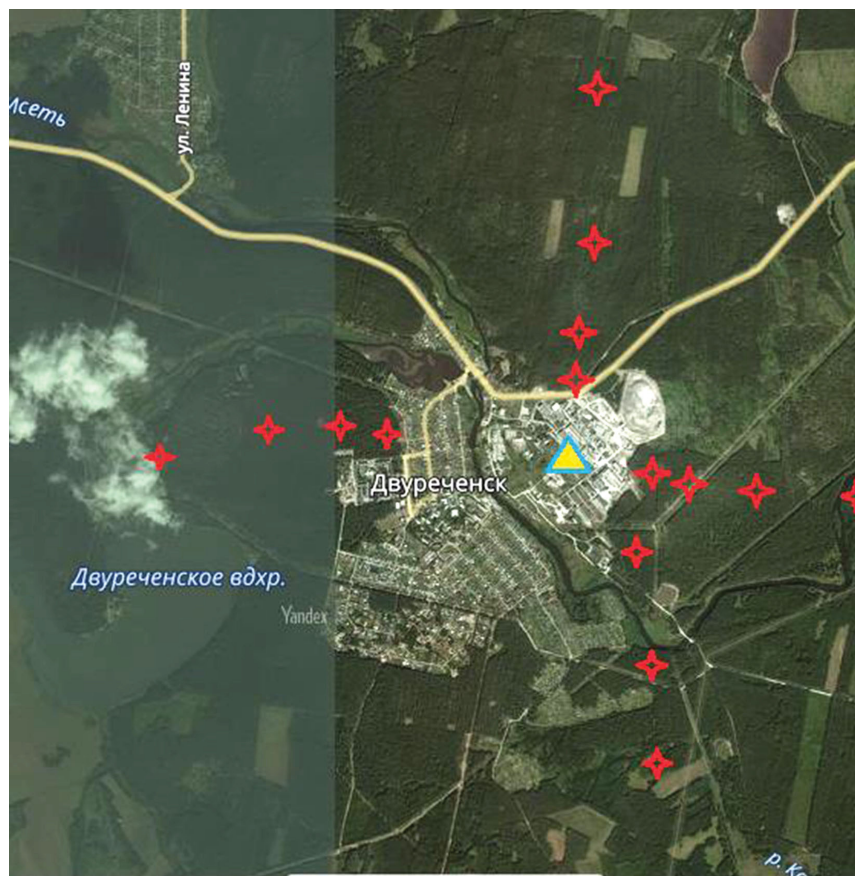


Рис. 1. Схема размещения временных пробных площадей
Fig. 1. Layout of temporary trial plots

анализа талой снеговой воды на фитотоксичность. В основу определения фитотоксичности положено сравнение суточного прироста клеток зеленой одноклеточной водоросли *Chlorella vulgaris* Beijer в контрольном и опытных вариантах. Изменение численности клеток определяется посредством измерения оптической плотности суспензии водоросли при длине волны 670 нм. По гибели, агрегации и изменению суточного прироста численности клеток определяли качество исследуемого объекта. Расчет показателя коэффициента токсичности проводили по формуле

$$K_m = \frac{A_k - A_m}{A_k},$$

где A_k и A_m – величины оптической плотности контрольного и тестируемого образца.

Критерием токсичности тестируемого образца является снижение коэффициента токсичности на 20 % и более (подавление роста) или увеличение на 30 % и более (стимуляция роста величины оптической плотности культуры водоросли, выращиваемой в течение 24 ч на тестируемой воде, по сравнению с ее ростом на контрольной среде, приготовленной на дистиллированной воде) [10].

Степень токсичности образца устанавливается на основе токсикологических характеристик через величину биологически безопасного разбавления. Для этого из результатов биотестирования разведений пробы воды, кратных трем, выбирают то разбавление,

для которого рассчитанный коэффициент токсичности превысил значение 0,2 (подавление роста) или 0,3 (стимуляция роста).

Дополнительно исследовалось наличие лишайников на пробных площадях. Лихеноиндикация, как и все методы биотестирования, опирается на закон экологической индивидуальности видов. Виды реагируют на определенные факторы внешней среды по-разному [11]. Из всех экологических групп лишайников наибольшей чувствительностью обладают эпифитные лишайники (или эпифиты), т. е. лишайники, растущие на коре деревьев. Известно, что при повышении степени загрязнения воздуха первыми исчезают кустистые, затем листоватые и последними накипные (корковые) формы лишайников [12]. В учет брались три основные разновидности лишайников исходя из внешнего вида слоевища: накипные, листоватые и кустистые. Для проведения лехеноиндикации было взято 5 деревьев на каждой временной пробной площади путем слу-

чайного отбора. Замер и расчет площади покрытия лишайниками проводился согласно методическому пособию Боголюбова «Оценка загрязнения воздуха методом лихеноиндикации» [12].

Результаты исследований и их обсуждение

Поученные данные указывают на то, что наихудшее санитарное состояние древостоя – на первой пробной площади северной трансекты (рис. 2.). Чуть более высокий балл имеет древостой на первой пробной площади восточной трансекты. На вторых пробных площадях, северной и восточной трансект, баллы санитарного состояния близки между собой. На южной трансекте древостой характеризуется относительно хорошим санитарным состоянием, которое не изменяется от самого источника загрязнения.

Возраст хвои на первых пробных площадях северной и восточной трансект составляет в среднем 1,5–2 года. С удалением от источника продолжительность жизни хвои повышается.

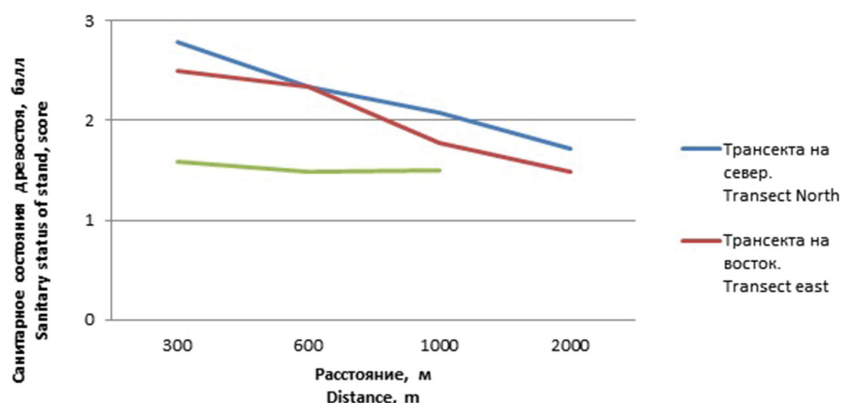


Рис. 2. Санитарное состояние древостоя относительно расстояния от источника загрязнения

Fig. 2. The sanitary state of the stand relative to the distance from the source of pollution

На западной трансекте и на условно-контрольной пробной площади возраст хвои в среднем составляет 3 года (рис. 3).

Оценка фитотоксичности водной вытяжки из почв показала, что на первых пробных площадях северной и восточной трансект почвы токсичные и среднетоксичные. На этих же трансектах с удалением от источника почвы остаются среднетоксичными. На третьей пробной

площади восточной трансекты почвы токсичные.

На западной трансекте слабо-токсичные и нетоксичные почвы, что вполне очевидно, так как данные ВПП находятся с наветренной стороны от источника выбросов. На условно-контрольной пробной площади почвы оказались токсичными, что сложно объяснить, так как поблизости не имеется факторов, способных оказать негативное

влияние, поэтому для выявления причин могут потребоваться дополнительные исследования. Таким образом, просматривается связь степени фитотоксичности почв со значениями среднего санитарного состояния древостоя.

Известно, что содержание поллютантов в снежном покрове, как правило, в 2–3 раза выше чем в атмосферном воздухе [13]. На первой и второй пробной площадях северной трансекты талая снеговая вода токсичная. Из всех проб талой снеговой воды выделяется проба, взятая вблизи отвала, – она гипертоническая. Возможно, в зимний период за счет сильных ветров и снега пылевые частицы более активно распространяются с заводского отвала. Все данные по степени фитотоксичности почв и талой снеговой воды занесены в таблицу.

В качестве дополнительного показателя экологического состояния зоны действия выбросов изучались состав и распространение лишайников. На пробных площадях были представлены следующие виды лишайников: леканора разнообразная *Lecanora allopurpurea* Nul, цетрария сосновая *Cetraria pinastri* (Scop.) Gray, гипогимния вздутая *Hypogymnia physodes* (L.) Nul, эверния мезоморфная *Evernia mesomorpha* Nul. Наиболее наглядные данные анализа методом лихеноиндикации представлены в виде гистограммы по северной трансекте на рис. 4.

На первых пробных площадях полностью отсутствует какой-либо видовой состав лишайников. Исключение составила первая

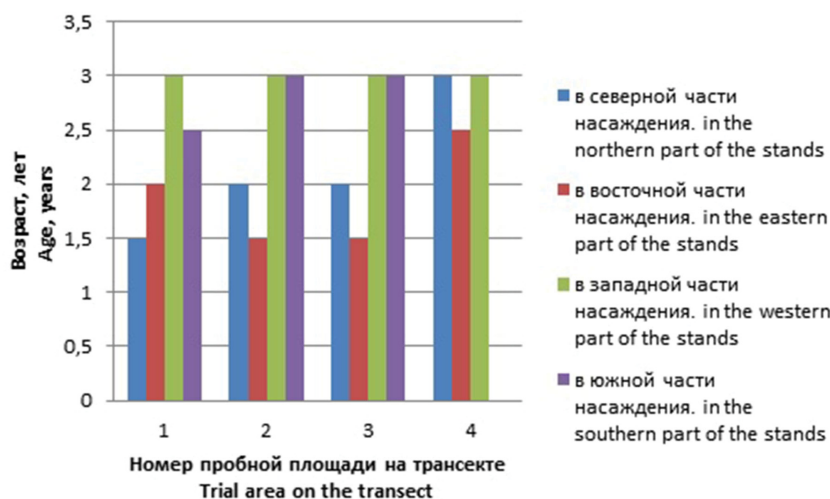


Рис. 3. Средний возраст хвои сосны обыкновенной на ВПП
Fig. 3. The average age of pine needles on the TTP

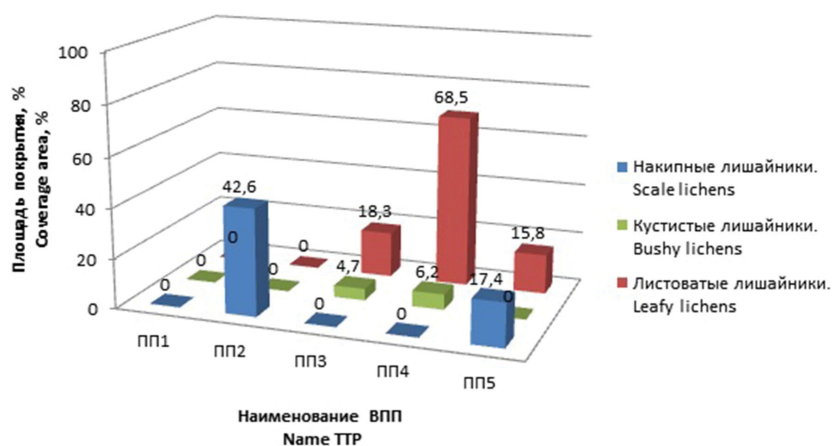


Рис. 4. Площадь покрытия ствола дерева лишайниками на высоте до 1 м (трансекта на север)
Fig. 4. The area of the tree trunk with lichens at a height up to 1 meter (transect to the north)

Токсичность почв и талой снеговой воды на ВПП

Toxicity of soil and snow melt on the TTP

Трансекта на север Transect North		
Номер пробы Sample Number	Степень токсичности почвенной вытяжки The degree of toxicity of soil extract	Степень токсичности талой снеговой воды Toxic snowmelt toxicity
1	Токсичная Toxic	Токсичная Toxic
2	Токсичная Toxic	Токсичная Toxic
3	Среднетоксичная Medium toxic	Слаботоксичная Slightly toxic
4	Слаботоксичная Slightly toxic	Слаботоксичная Slightly toxic
Трансекта на восток Transect east		
1	Среднетоксичная Medium toxic	Слаботоксичная Slightly toxic
2	Среднетоксичная Medium toxic	Слаботоксичная Slightly toxic
3	Токсичная Toxic	Среднетоксичная Medium toxic
4	Среднетоксичная Medium toxic	Слаботоксичная Slightly toxic
Трансекта на запад Transect west		
1	Слаботоксичная Slightly toxic	Нетоксичная Non toxic
2	Слаботоксичная Slightly toxic	Нетоксичная Non toxic
3	Нетоксичная Non toxic	Нетоксичная Non toxic
4	Нетоксичная Non toxic	Нетоксичная Non toxic
Трансекта на юг Transect South		
1	Среднетоксичная Medium toxic	Среднетоксичная Medium toxic
2	Токсичная Toxic	Нетоксичная Non toxic
3	Сильно токсичная Highly toxic	Нетоксичная Non toxic
Контрольная ВПП TTP control		
1	Токсичная Toxic	Слаботоксичная Slightly toxic
Отвал Dump		
1	Слаботоксичная Slightly toxic	Гепертоксичная Hypertoxic

пробная площадь на западной трансекте, где присутствуют в небольшом количестве листоватые лишайники и единично кустистые. На всех трансектах преобладают листоватые лишайники – гипогимния вздутая.

Наблюдается тенденция в увеличении площади покрытия стволов деревьев лишайником относительно удаления их от источника загрязнения. Особенно это ярко выражено на северной и западной трансектах. Возрастает площадь покрытия не только листоватых лишайников, но и кустистых, которые более требовательны к чистоте воздуха. Однако имеются пробные площади, где количество лишай-

ников снижается по сравнению с таковым на предыдущей пробной площади, а где-то вовсе лишайники отсутствуют. Основной причиной тому являются низовые лесные пожары.

Выводы

1. Лесные экосистемы, прилегающие к п. Двуреченск, находятся в ослабленном состоянии:

а) средняя категория санитарного состояния – от 1,34 до 2,78 балла;

б) продолжительность жизни хвои сосны обыкновенной – от 1,5 до 3 лет;

в) степень фитотоксичности почв: от нетоксичных до токсичных;

г) степень фитотоксичности талой снеговой воды: от нетоксичной до гипертоксичной).

2. Прослеживается связь санитарного состояния древостоев с фитотоксичностью почв и талой снеговой воды и данными лишеноиндикации.

3. В наибольшей степени влияние завода на состояние древостоя прослеживается в северной и восточной частях зоны. На северной и восточной трансектах отмечается наихудшее санитарное состояние древостоев, наименьший возраст хвои, пробы почвы и талой снеговой воды токсичные и среднетоксичные, площадь покрытия лишайниками наименьшая.

Библиографический список

1. Воскобойников, В. Г. Общая металлургия : учебник для вузов / В. Г. Воскобойников, В. А. Кудрин, А. М. Якушев. – 6 изд., перераб. и доп. – Москва : Академкнига, 2011. – 773 с.
2. Цветков, В. Ф. Промышленное загрязнение окружающей среды и леса / В. Ф. Цветков, И. В. Цветков. – Архангельск : САФУ, 2012. – 312 с.
3. Гитарский, М. Л. Эмиссия и поглощение парниковых газов антропогенного происхождения лесами России : диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук / М. Л. Гитарский. – Москва, 2007. – 44 с.
4. Юсупов, И. А. Состояние искусственных сосновых молодняков в условиях аэропромвыбросов / И. А. Юсупов, Н. А. Луганский, С. В. Залесов. – Екатеринбург, 1999. – 195 с.
5. Залесов, С. В. Основные факторы поражённости сосны корневыми и стволовыми гнилями в городских лесопарках / С. В. Залесов, Е. В. Колтунов, Р. Н. Лаишевцев // Защита и карантин растений. – 2008. – № 2. – С. 56–58.
6. Залесов, С. В. Состояние лесных насаждений, подверженных влиянию промышленных поллютантов ЗАО «Карабашмедь» и реакция их компонентов на проведение рубок обновления / С. В. Залесов, А. В. Бачурина, С. В. Бачурина. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017. – URL: <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/6620>
7. Haselhoff, E. Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch. Handbuch zur Erkennung und Beurteilung von Rauchschäden / E. Haselhoff, G. Lindau. – Leipzig : Gebrüder Borntraeger, 1903. – 412 s.
8. Ключевский завод ферросплавов // Группа МидЮрал : [сайт]. – Екатеринбург, 2018. – URL: <http://www.miduralgroup.ru/kzf.htm> (дата обращения: 17.11.2018).
9. Постановление Правительства Российской Федерации от 20 мая 2017 года № 607 «О Правилах санитарной безопасности в лесах». – URL: <http://www.consultant.ru>

10. Григорьев, Ю. С. Методика определения токсичности проб поверхностных пресных, грунтовых, питьевых, сточных вод, водных вытяжек из почвы, осадков сточных вод и отходов по изменению оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer) / Ю. С. Григорьев. – Москва : МПР России, 2004. – 25 с.
11. Чеснокова, С. М. Лихеноиндикация загрязнения окружающей среды : практикум / С. М. Чеснокова. – Владимирский государственный университет. – Владимир, 1999. – 38 с.
12. Боголюбов, А. С. Оценка загрязнения воздуха методом лишеноиндикации : методическое пособие / А. С. Боголюбов, М. В. Кравченко. – Москва : Экосистема, 2001. – 15 с.
13. Систер, В. Г. Инженерно-экологическая защита водной системы северного мегаполиса в зимний период / В. Г. Систер, В. Е. Корецкий. – Москва : МГУЭИ, 2004. – 159 с.

Bibliography

1. Voskoboinikov, V. G. General metallurgy : Textbook for universities / V. G. Voskoboinikov, V. A. Kudrin, A. M. Yakushev. – 6th ed., Rev. and add. – Moscow : Akademkniga, 2011. – 773 p.
2. Tsvetkov, V. F. Industrial pollution of the environment and forests / V. F. Tsvetkov, I. V. Tsvetkov. – Arkhangelsk : NArFU, 2012. – 312 p.
3. Guitar, M. L. Emission and absorption of greenhouse gases of anthropogenic origin by the forests of Russia : dis. ... Dr. Biol. Sciences / M. L. Guitar. – Moscow, 2007. – 44 p.
4. Yusupov, I. State of artificial pine young stands in terms of Agroprombiznes / I. Yusupov, N. Lugansky, S. Zalesov. – Yekaterinburg, 1999. – 195 p.
5. Zalesov, S. Main factors of pine root and stem rot infestation in urban forest parks / S. Zalesov, E. Koltunov, R. Laishevtsev // Plant protection and quarantine. – 2008. – № 2. – P. 56–58.
6. Zalesov, S. State of forest plantations affected by industrial pollutants of ZAO «Karabash copper» and the reaction of their components to logging / S. Zalesov, A. Bachurina, S. Bachurina. – Yekaterinburg : Ural. state forest engineering. un-t, 2017. – URL: [http:// elar.usfeu.ru/handle/123456789/6620](http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/6620)
7. Haselhoff, E. Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch. Handbuch zur Erkennung und Beurteilung von Rauchschäden / E. Haselhoff, G. Lindau. – Leipzig : Gebrüder Borntraeger, 1903. – 412 s.
8. Kluchevsky ferroalloy plant // MidUral Group : website. Yekaterinburg, 2018. – URL: <http://www.miduralgroup.ru/kzf.htm> (Date of access: 11/17/2018)
9. Decree of the Government of the Russian Federation of May 20, 2017 N 607 «On the Rules of sanitary safety in forests». – URL: <http://www.consultant.ru>
10. Grigoryev Yu.S. The methodology for determining the toxicity of samples of surface fresh, ground, drinking, wastewater, water extracts from the soil, sewage sludge and waste by changing the optical density of the culture of Chlorell algae (*Chlorellavulgaris* Beijer). – Moscow : MPR of Russia, 2004. – 25 p.
11. Chesnokova, S. M. Lichen Indication of Environmental Pollution : Workshop / S. M. Chesnokova. – Vladim. state un-t. – Vladimir, 1999. – 38 p.
12. Bogolyubov, A. S. Assessment of air pollution by the method of lichen indication : method. manual / A. S. Bogolyubov, M. V. Kravchenko. – Moscow : Ecosystem, 2001. – 15 p.
13. Sister, V. G. Environmental engineering protection of the water system of the northern metropolis in winter / V. G. Sister, V. E. Koretsky. – Moscow : Publishing house of Moscow State University of Economics and Economics, 2004. – 159 p.